

GRZYBY EKTOMIKORYZOWE I GLEBY LEŚNE - RÓŻNORODNOŚĆ JEST PRZYPRAWĄ ŻYCIA

Olivia Azevedo ^{1*} and Frank Ashwood ²

¹ University of Stirling, Zjednoczone Królestwo

² Alice Holt Research Station, Zjednoczone Królestwo

MŁODY KRYTYK:



ANNA

WIEK: 16



CATHERINE

WIEK: 15

Grzyby ektomikoryzowe tworzą na całym świecie starożytną i niezwykle udaną współpracę z drzewami leśnymi. Roślina żywicielska i związane z nią grzyby nawiązały obopólną współpracę: grzyby zwiększają możliwości żywieniowe roślin, umożliwiając im uzyskanie trudno dostępnych składników odżywczych, a w zamian grzyby uzyskują stały i nieprzerwany dostęp do węglowodanów (takich jak cukry) z roślin. Ta w dużej mierze niewidoczna interakcja napędza obieg węgla w glebie i wpływa korzystnie na zdrowie i odżywianie roślin. Poprzez utrzymywanie tak podstawowych ról ekologicznych jak dekompozycja i mutualizm, grzyby ektomikoryzowe przyczyniają się do bioróżnorodności gleby i są związane z losem lasów w obliczu stresów środowiskowych, takich jak zmiany klimatu i użytkowania gruntów.

GRZYBY I ICH ROLA W EKOSYSTEMACH LEŚNYCH

DESTRUENT

Są to bakterie, grzyby lub bezkręgowce, które rozkładają martwe rośliny i zwierzęta, uwalniając składniki odżywcze z powrotem do gleby. Bez nich martwe organizmy i odpady gromadziłyby się, a rośliny nie byłyby w stanie uzyskać niezbędnych składników odżywczych.

MATERIA ORGANICZNA

Każdy materiał wytworzony pierwotnie przez żywe organizmy, takie jak rośliny, zwierzęta i mikroorganizmy, które wracają do gleby i mogą być dalej rozkładane. Materia organiczna jest bogata w węgiel.

SYMBIOZA

Każdy rodzaj bliskiej, długotrwałej interakcji biologicznej pomiędzy dwoma różnymi organizmami.

MUTUALIZM

Związek pomiędzy dwoma lub więcej gatunkami, w którym każdy gatunek odnosi korzyści.

GRZYBY MIKORYZOWE

Grzyby które tworzą mutualistyczne relacje z korzeniami roślin. Rośliny otrzymują składniki odżywcze i ochronę od grzybów, a grzyby otrzymują cukry od roślin.

Często słyszymy, że różnorodność jest przyprawą życia. To stwierdzenie można łatwo odnieść do wielu interakcji w przyrodzie, takich jak te zachodzące w ekosystemach leśnych. Aby prowadzić długie i zdrowe życie, prawie wszystkie rośliny w naturze polegają na złożonej i zróżnicowanej sieci organizmów glebowych odżywiających się wzajemnie. Ta przeważnie niewidoczna podziemna sieć składa się z maleńkich bakterii, archeonów, grzybów i wielu innych mikroskopijnych organizmów. W glebach leśnych rola grzybów jest jednym z kluczowych elementów szerszej sieci ekologicznej. Grzyby pełnią wiele funkcji ekologicznych, ale dwie z nich są szczególnie ważne. Po pierwsze, grzyby odgrywają ważną rolę jako **destruenci**. Grzyby doskonale radzą sobie z rozkładaniem martwego materiału roślinnego (zwanego **materią organiczną**), ponieważ lepiej niż inne organizmy potrafią całkowicie rozłożyć szczególnie twarde materiały znajdujące się w komórkach roślin drzewiastych [1]. Wyposażone są w szereg enzymów, czyli specjalnych białek, które pomagają wytwarzać i przyspieszać reakcje chemiczne, grzyby mogą degradować materię organiczną i uwalniać trudne do zdobycia składniki odżywcze, czyniąc je dostępnymi dla roślin i innych mieszkańców gleby. Jednakże, podczas rozkładu, grzyby uwalniają gaz CO₂ (dwutlenek węgla) jako produkt odpadowy, co powoduje przemieszczanie się węgla z gleby do atmosfery. Grzyby są tak doskonałymi destruentami, że rozkład grzybów jest jednym z największych światowych źródeł emisji dwutlenku węgla, uwalniając 85 gigaton (jedna gigatona równa się 45 jednemu miliardowi ton) węgla do atmosfery każdego roku. Dla porównania, w 2018 r. spalanie paliw kopalnych wyprodukowało około 10 gigaton [2].

W tym artykule skupimy się na innej ważnej roli, którą również odgrywają grzyby: ich **symbiotycznej** relacji z drzewami i innymi roślinami. Symbiotyczna relacja, w której oba gatunki czerpią korzyści, znany jest jako **mutualizm**. Grzyby, które tworzą mutualistyczne relacje z roślinami, znane są jako **grzyby mikoryzowe**, od "myco", co oznacza "odnoszący się do grzybów" i "rhizal", co oznacza "korzenie". Grzyby mikoryzowe tworzą starożytne, mutualistyczne relacje z korzeniami około 80% wszystkich roślin lądowych [1]. Nawet pozornie jałowa Antarktyda posiada kopalny zapis zbiorowisk mikoryzowych. Badania pokazują, że ta praca zespołowa trwa od 400 milionów lat, od czasu, gdy rośliny zaczęły kolonizować ląd [3]. Jak wszystkie grzyby, mikoryzy nie mogą wytwarzać własnego pokarmu, więc otrzymują cukry od swoich roślinnych gospodarzy, a w zamian dostarczają roślinom wodę i składniki odżywcze, takie jak azot i fosfor z gleby.

W przeciwieństwie do grzybów-destruentów, które mają tendencję do dominacji w górnej części gleby i uwalniają dużo węgla z ich działalności, symbiotyczne grzyby mikoryzowe zagłębiają się w glebę. Robiąc to, sieć grzybów staje się znaczącym pochłaniaczem węgla w glebie, co oznacza, że te grzyby utrzymują węgiel zamknięty z dala od atmosfery, przechowywany jako trudna do rozkładu materia organiczna w glebie. Oszacowano, że rośliny, u których występuje mikoryza, są w stanie przenieść do 35% więcej węgla do gleby niż rośliny bez mikoryzy i znaczna ilość węgla w tkankach mikoryzowych może pozostawać w glebie przez wiele lat [4]. Jest to istotne, ponieważ musimy zachować węgiel w glebie przez długi okres czasu, tak aby było go mniej w atmosferze powodując wzrost temperatury globalnej. Pomimo krytycznej roli,

jaką grzyby odgrywają w ekosystemach leśnych, ich różnorodność jest często pomijana podczas podejmowania decyzji dotyczących gospodarki leśnej. Ingerencja człowieka, taka jak wyrąb lub masowe stosowanie nawozów, może zmienić podziemną sieć i zakłócić równowagę całego ekosystemu. Jak w każdej innej sieci, jeśli brakuje jednego z łączących segmentów lub jest on osłabiony, cała struktura może ucierpieć.

SFERA GRZYBÓW

Istnieją dwa główne rodzaje oddziaływań grzybów mikoryzowych. Jeden typ, zwany endomikoryzą, jest tworzony wewnątrz komórek roślinnych. Chociaż nie będziemy się na nich skupiać w tym artykule, są one interesujące, ponieważ są niesamowitymi ekspertami w adaptacji do wielu różnych środowisk. Grzyby endomikoryzowe obejmują mikoryzy arbuskularne, erikoidalne i orchidalne. Jednak głównym przedmiotem naszego artykułu są **ektomikoryzy**, które są tworzone na zewnątrz ścian komórek roślinnych. Podczas gdy wiele typów mikoryz może współistnieć w ekosystemie, ektomikoryzy są dominujące w umiarkowanych i borealnych lasach, z około 6000 gatunków grzybów ustanawiających symbiotyczne relacje z wieloma drzewami i roślinami drzewiastymi.

Grzyby ektomikoryzowe są zbudowane z dwóch rodzajów ważnych struktur: **owocników** i **strzępek**. Owocniki są strukturami zawierającymi zarodniki wykorzystywane przez grzyby ektomikoryzowe do rozmnażania. Około 4500 gatunków grzybów ektomikoryzowych posiada nadziemne owocniki (tak jak grzyby kapeluszowe), podczas gdy do jednej czwartej mają owocniki podziemne (na przykład trufle). Grzyby ektomikoryzowe mają również strzępki (z greckiego oznaczające "sieć"), które są długimi włóknami lub rurkowatymi strukturami używanymi przez grzyby do wchłaniania i transportu składników odżywczych. Strzępki tworzą matę z tkanki grzybowej wokół korzeni roślin, tworząc osłonę, która otacza korzenie jak gips na złamanej kości (**Rycina 1**). Strzępki grzybowe rosną również na zewnątrz, jak żyły, wciskając się pomiędzy cząstki gleby, korzenie i skały, aby wychwycić składniki odżywcze, które są poza normalnym zasięgiem korzeni roślin. Związek ektomikoryzowy wytwarza również antybiotyki, hormony i witaminy przydatne dla rośliny i chroni korzenie roślin przed szkodliwymi warunkami w glebie, takimi jak niska zawartość składników odżywczych, organizmy chorobotwórcze i substancje toksyczne. W zamian za to grzyby uzyskują stały i bezpośredni dostęp do węglowodanów (np. cukrów) wytwarzanych przez ich roślinnych gospodarzy podczas fotosyntezy.

EKTOMIKORYZA

Związek między grzybem a korzeniami niektórych roślin.

OWOCNIK

Struktury wytwarzane przez grzyby, aby mogły się rozmnażać. Grzybnia grzyba kapeluszowego jest powszechnym typem owocnika.

STRZĘPKI

Długie, rozgałęziające się struktury grzyba, które rozprzestrzeniają się w glebie w celu wchłaniania i transportowania składników odżywczych.

Rycina 1

Grzyb ektomikoryzowy *Lactarius camphoratus*, tworzący białą osłonę wokół korzeni dębu. (Fotografia autorstwa Laury Martinez-Suz)



Rycina 1

GRZYBY EKTOMIKORYZOWE I LASY: PRACA ZESPOŁOWA W NAJLEPSZYM WYDANIU

Grzyby ektomikoryzowe preferują jako swoich partnerów gatunki roślin drzewiastych, takich jak drzewa i krzewy. Czasami mogą one tworzyć związki ekskluzywne, w których tylko jeden gatunek grzyba łączy się w parę z konkretnym gatunkiem drzewa. Jednakże ektomikoryzy zazwyczaj łączą się z szeroką gamą gatunków drzew. Powszechne jest występowanie kilku różnych grzybów mikoryzowych w systemie korzeniowym pojedynczego drzewa lub jeden gatunek grzyba, który jest związany z kilkoma różnymi gatunkami drzew. Na przykład, świerk norweski może tworzyć symbiotyczne związki z ponad 100 różnymi gatunkami grzybów. Dobrze znany trujący grzyb zwany muchomorem sromotnikowym może kolonizować korzenie kilku gatunków drzew, w tym sosny, brzozy, świerka i eukaliptusa (**Rycina 2**).

Zakres gatunków roślin zasiedlanych przez grzyby ektomikoryzowe jest stosunkowo niewielki - jest to zaledwie ok. 2% roślin na świecie. Jednak rośliny, którym partnerują grzyby ektomikoryzowe, pokrywają duże obszary i mają dużą wartość gospodarczą, na przykład jako źródło drewna. W północnych regionach umiarkowanej strefy klimatycznej, sosna, topola, świerk, jodła, wierzba, buk, brzoza i dąb są związane z grzybami ektomikoryzowymi, podczas gdy eukaliptus i buk południowy są częściej związane z grzybami ektomikoryzowymi na półkuli południowej.

Rycina 2

Dobrze znany niejadalny grzyb zwany muchomorem czerwonym (*Amanita muscaria*) może tworzyć związek mikoryzowy z kilkoma gatunkami drzew, w tym z sosną, jak pokazano tutaj. (Autorka ryciny: Angela Mele)



Rycina 2

Ektomikoryzy umożliwiają drzewom i lasom zdolność do przystosowania się do zmian sezonowych i krajobrazowych, na przykład poprzez zapewnienie odpowiedniego poziomu wody przez cały rok i pomoc roślinom w osiedlaniu się na nowych glebach. Grzyby chronią również rośliny przed degradacją gleby, zanieczyszczeniami i zmieniającymi się warunkami klimatycznymi. Naukowcy zaobserwowali bezpośredni związek pomiędzy spadkiem liczebności grzybów ektomikoryzowych a spadkiem zdrowotności drzew. Ponieważ każdy rodzaj grzybów ektomikoryzowych ma swój własny, unikalny zestaw cech, każdy gatunek jest niezbędny i niezastąpiony. Na przykład, niektóre gatunki preferują chłodne lub wilgotne warunki; inne działają lepiej podczas ciepłych lub suchych pór roku; niektóre są ekspertami w pozyskiwaniu fosforu i azotu z gleby; a jeszcze inne są bardziej skuteczne w pozyskiwaniu tych składników odżywczych z rozkładającej się materii organicznej [5].

Grzyby ektomikoryzowe są również niezwykle ważnym ogniwem łączącym rośliny z glebową łańcuchem pokarmowym, czyli złożoną społecznością organizmów występujących w glebie. Grzyby te dostarczają ważnych składników odżywczych dla organizmów żyjących w glebie wokół korzeni roślin, takich jak inne drobne grzyby, bakterie, pierwotniaki i bezkręgowce. Grzyby wytwarzają również owocniki, które są niezbędnym pożywieniem dla dzikich zwierząt w ekosystemach leśnych. Na przykład, wiele gryzoni, takich jak północna wiewiórka latająca i nornica amerykańska, jest uzależnionych od trufli jako podstawowego źródła pożywienia. Wiele innych ssaków je grzyby, w tym niedźwiedzie, jelenie i myszy. Ludzie podziwiają złożone i często piękne struktury grzybów, czerpiąc wielką radość z nauki, aby identyfikować je i studiować ich ekologię, a także cieszyć się nimi jako kulinarnymi przysmakami. Dzięki grzyby są również wykorzystywane do produkcji leków, a przemysł farmaceutyczny powszechnie bada właściwości antybakteryjne grzybów ektomikoryzowych.

CHRONIĄC NASZE LASY I GRZYBY

Pomimo znaczenia symbiozy mikoryzowej w lasach na całym świecie, ochrona grzybów ektomikoryzowych i ich monitorowanie w celu oceny stanu zdrowotnego lasu są rzadko uwzględniane w decyzjach dotyczących gospodarki leśnej. Funkcje i usługi, które zapewniają lasy, są zależne od bioróżnorodności gleby. Grzyby są głównym składnikiem tej różnorodności biologicznej, co czyni je ważnym partnerem w pokonywaniu globalnych wyzwań, przed którymi obecnie stoimy. Grzyby mogłyby przyczynić się do długoterminowego usuwania węgla z atmosfery, co mogłoby pomóc nam w zwalczaniu skutki zmian klimatycznych. Poprzez obieg niezbędnych składników odżywczych, grzyby mogłyby również pomóc zapobiegać degradacji gleb, tak aby ziemia mogła nadal produkować żywność i podtrzymywać życie. Naukowcy i zarządcy terenów muszą kontynuować badania i chronić grzyby ektomikoryzowe, aby te ważne organizmy mogły utrzymać swoją kluczową rolę w sieci życia na naszej planecie.

PODZIĘKOWANIA

Chcielibyśmy podziękować za wsparcie finansowe i/lub logistyczne ze strony Uniwersytetu Stirling, Forest Research, Natural England, Woodland Trust, Forestry Commission Scotland i Tarmac.

LITERATURA

1. van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M. A., and Sanders, I. R. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytol.* 205:1406–23. doi: 10.1111/nph.13288
2. Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., et al. 2019. Global carbon budget 2019. *Earth Syst. Sci. Data.* 11:1783–838. doi: 10.5194/essd-11-1783-2019
3. Brundrett, M. C. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytol.* 154:275–304. doi: 10.1046/j.1469-8137.2002.00397.x
4. Frey, S. D. 2019. Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 50:237–59. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110617-062331
5. Amaranthus, M. P. 1998. The Importance and Conservation of Ectomycorrhizal Fungal Diversity in Forest Ecosystems : Lessons From Europe and the Pacific Northwest. Portland, OR. doi: 10.2737/PNW-GTR-431

ZREDAGOWANY PRZEZ: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

MENTOR NAUKI: Ryan Thomas Weir

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE AUTORÓW: F.A. i O.A. wymyślili artykuł, O.A. napisała manuskrypt, a F.A. zredagował manuskrypt.

ŹRÓDŁO: Azevedo O and Ashwood F (2022) The Soil Fungi: A Web of Life That Protects Trees and Fight Climate Change. *Front. Young Minds* 10:652660. doi: 10.3389/frym.2022.652660

KONFLIKT INTERESÓW: Autorzy deklarują, że badania zostały przeprowadzone przy braku jakichkolwiek komercyjnych lub finansowych relacji, które mogłyby być interpretowane jako potencjalny konflikt interesów.

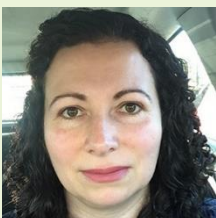
COPYRIGHT © 2022 Azevedo and Ashwood. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**ANNA, WIEK : 16**

Chciałam wziąć udział w programie Frontiers for Young Minds, ponieważ pomyślałam, że będzie to świetna okazja, aby dowiedzieć się więcej o otaczającym mnie świecie! Uwielbiam nauki ścisłe, szczególnie biologię i fizykę. Po szkole chciałabym robić coś związanego z tymi przedmiotami.

**CATHERINE, WIEK: 15**

Kocham muzykę i śpiew, gram na skrzypcach i gitarze, lubię też pisać! Należę do zespołu tańca góralskiego i jestem wolontariuszką z dziećmi w lokalnych klubach dziecięcych i przewodnikach. Lubię uczestniczyć w wydarzeniach młodzieżowych w moim kościele i uprawiać fitness. Miałam nadzieję, że przeglądając te artykuły dowiem się o nowych i ciekawych rzeczach!

**AUTORZY****OLIVIA AZEVEDO**

Jestem byłym dziennikarką, która postanowiła zostać gleboznawczynią. Przeprowadziłam się z Portugalii do Szkocji, gdzie obecnie jestem doktorantką na Uniwersytecie w Stirling. Moje badania obejmują wiele kopania w glebach leśnych w nadziei na znalezienie odpowiedzi na jedno ważne pytanie: co dzieje się z glebami i rzeczami żyjącymi w glebie, gdy sadi się drzewa. Moje zainteresowania badawcze obejmują, ale nie są ograniczone do następujących obszarów: Różnorodność biologiczna gleby; cykliczność składników odżywczych; wzajemne relacje łączące nadziemne i podziemne składniki ekosystemów lądowych; degradacja gleby i zarządzanie nią; historyczne krajobrazy glebowe. [*olivia.azevedo@stir.ac.uk](mailto:olivia.azevedo@stir.ac.uk)

**FRANK ASHWOOD**

Pasja do przyrody zachęciła mnie do studiowania biologii na uniwersytecie, gdzie brałem udział w projektach badawczych dotyczących ekologii bezkręgowców w Szkocji i Meksyku. Po kilku latach pracy jako konsultant ds. środowiska, wróciłem na uniwersytet i zrobiłem doktorat, badając dżdżownice na rekultywowanych wysypiskach śmieci. Obecnie mam świetną pracę jako ekolog glebowy w Forest Research, gdzie badam bioróżnorodność gleb w brytyjskich lasach. W wolnym czasie udzielam korepetycji z biologii gleby i zajmuję się makrofotografią (fotografowaniem małych zwierząt żyjących w glebie).

TŁUMACZKA**DOMINIKĘ SIEGIEDEŃ**

Instytut Agrofizyki, Polska Akademia Nauk